نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره1، جلد 11، فروردین - اردیبهشت 1396، ص. 112-104

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 11, Apr.-May. 2017, p. 104-112

واسنجی و ارزیابی سه روش تجربی برآورد تبخیرتعرق مرجع (مطالعه موردی: سه اقلیم از 6 اقلیم ایران)

پریسا پاشاخواه[1]، حسین ابراهیمی[2]، سارا بلوک آذری[3]، حسین حسن پور درویشی[4]

تاریخ دریافت: 1394/8/18 تاریخ پذیرش: 1395/22/12

چکیده

آگاهی از نیاز آبی گیاه یکی از ملاحظات مهم در اصلاح بهره‌وری آب در کشاورزی است. بنابراین، برآورد دقیق تبخیرتعرق مرجع از مهم‌ترین عوامل ارتقاء مدیریت آب است. روش پنمن مانتیث فائو به‌عنوان فرمول استاندارد برآورد تبخیرتعرق مرجع مورد استفاده قرار می‌گیرد. ولی این روش دارای محاسبات طولانی و پیچیده بوده و نیاز به اطلاعات زیادی دارد. با توجه به عدم برداشت برخی از اطلاعات مورد نیاز این روش در تمام مناطق، استخراج معادلات منطقه‌ای مناسب برای محاسبه تبخیرتعرق با تکیه بر حداقل داده‌های هواشناسی ضروری به نظر می‌رسد. بدین منظور، سه معادله تجربی بلانی کریدل اصلاحی، هارگریوز و تورنت‌وایت انتخاب و بر اساس معادله پنمن مانتیث فائو برای سه اقلیم مختلف و به دو روش رگرسیون خطی و بهینه‌سازی غیرخطی واسنجی شد. داده‌های مربوط به یک دوره 10 ساله برای سه ایستگاه با اقلیم‌های خیلی‌مرطوب، نیمه‌خشک و خشک ایران استخراج و به دو گروه 5 سال اول و 5 سال دوم تقسیم شد. با داده‌های 5 سال اول معادلات واسنجی‌شده و ارزیابی معادلات با استفاده از اطلاعات 5 سال دوم و توسط شاخص‌های آماری آزمون F و RRMSE انجام شد. با توجه به نتایج، برای اقلیم خیلی مرطوب، استفاده از معادله‌های بلانی کریدل و هارگریوز و برای اقلیم‌های نیمه‌خشک و خشک، استفاده از معادله واسنجی شده تورنت وایت با روش واسنجی رگرسیون خطی جهت برآورد تبخیرتعرق مرجع قابل توصیه است. در فرآیند واسنجی معادلات، روش رگرسیون خطی نسبت به روش بهینه‌سازی غیرخطی عملکرد بهتری داشت.

واژه‌های کلیدی: تبخیر تعرق گیاه مرجع ، پنمن مانتیث فائو، بلانی کریدل، تورنت وایت، هارگریوزسامانی

مقدمه

برداشت آب از منابع موجود در سرتاسر جهان دارای محدودیت-هایی است. با نگاهی به آمار و ارقام، بیش از دو میلیارد نفر به سبب توزیع ناعادلانه این منبع در مکان و زمان، در مناطق کم آب یا نواحی بحرانی از نظر آب زندگی می‌کنند (Oki and Knae., 2006). بسیاری از پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که بیش از 59% از مردم جهان تا سال 2058 کمبود آب را تجربه خواهند کرد (Rockstorm et al., 2009). در بسیاری از مناطق ایران، حتی در مناطق توسعه یافته شهری هم کمبود آب آشامیدنی سالم محسوس است، از این‌رو در چنین مناطقی ارزیابی صحیح از توزیع و درخواست آب، برای بهبود مدیریت و اجتناب از کمبود آب بسیار مهم و تعیین کننده است (Maeda et al., 2010). بطور کلی 70% از برداشت‌های آب شیرین صرف مصارف کشاورزی می‌شود (FAO., 2005). در بیش‌تر مناطق ایران کشاورزی در کنار صنعت یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های اقتصادی به شمار می‌آید. در مناطق گرم و خشک ایران، مثل نواحی جنوب-غربی، شمال‌شرقی و جنوبی، کشاورزی از رونق خاصی برخوردار است. اما کمبود آب، حتی برای مصارف خانگی هم در این مناطق حس می‌شود. بنابراین مدیریت منابع آب برای مصارف کشاورزی و تعیین صحیح و دقیق آب مورد نیاز برای این منظور، دارای ارزش حیاتی است. یکی از نیازمندی‌های بنیادی برای برآورد مقدار آب مورد نیاز محصولات کشاورزی دانستن روابط بین شرایط آب و هوایی و تبخیرتعرق است (Maeda et al., 2010). تبخیرتعرق بوسیله دو

1- دانشجوی دوره دکتری مهندسی علوم آب، واحد علوم و تحقیقات ، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران
2- دانشیار گروه علوم و مهندسی علوم آب، واحد شهرقدس ، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران ، ایران
3- دانشجوی دوره دکتری مهندسی علوم آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران
4- دانشیار گروه علوم و مهندسی علوم آب، واحد شهرقدس ، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران ، ایران
(* - نویسنده مسئول: Email: Ebrahimi165@yahoo.com)

فرآیند مجزا تعریف می‌شود که در آن آب از طرفی به وسیله تبخیر از سطح خاک و از طرف دیگر به وسیله تعرق از اندام گیاه خارج می‌گردد (Allen et al., 1998).

برآورد تبخیرتعرق به راه‌های مختلف صورت می‌گیرد. به طور معمول تبخیرتعرق واقعی گیاه از حاصل‌ضرب تبخیرتعرق مرجع در یک ضریب گیاهی برآورد می‌شود. بنابراین به‌دست آوردن تبخیرتعرق مرجع ضروری است. تبخیرتعرق مرجع را می‌توان توسط روش‌های فیزیکی، تئوری یا تجربی به‌دست آورد. اندازه‌گیری‌های مستقیم تبخیرتعرق گیاهی به ندرت در دسترس هستند (Summer and Jacobs., 2005) و این نکته که برآورد تبخیرتعرق کاری سخت و هزینه‌بردار است، امری اجتناب ناپذیر است. از این‌رو مدل‌هایی بر پایه، داده‌های هواشناسی در سطح جهانی توسعه یافته‌اند. این مدل‌های برآورد تبخیرتعرق مرجع، معمولا بر اساس اصول فیزیکی، معادلات تجربی و یا ترکیبی از این دو روش هستند (Maeda et al., 2010). روش‌های تجربی بر اساس آنالیزهای آماری و مشاهدات ایستگاه‌های هواشناسی و معمولا برای یک منطقه یا شرایط آب و هوایی یا اقلیمی خاص ارائه می‌شوند (Bos et al., 2009).

از طرفی دیگر مدل‌های فیزیکی بیش‌تر هدف‌شان شبیه‌سازی اصول بنیادی مثل تعادل انرژی و جابجایی جرم است. برای مثال تابش خورشیدی، رطوبت نسبی، سرعت باد تعدادی از داده‌های مهم برای محاسبه تبخیرتعرق مرجع بر اساس مدل‌های فیزیکی هستند (Maeda et al., 2010). روش‌های مختلفی برای برآورد تبخیرتعرق مرجع در دهه‌های گذشته استفاده شده است. از جمله آن‌ها می‌توان به روش پنمن مانتیث فائو (Allen et al., 1998)، معادله استاندارد ASCE(Walter et al., 2000)، پریستلی تیلور اصلاح شده (Snyder., 1992 و Pereira et al., 1995) و معادله هارگریوز سامانی (Hargreaves and Samani, 1982., 1985) اشاره نمود. برای مقایسه بین روش‌های تجربی تبخیرتعرق، روش رگرسیون چند متغیره، به شرطی که در شرایط خوبی واسنجی شود، می‌تواند روشی مناسب و سودمند باشد (Li et al., 2005). روش تشت تبخیر می‌تواند یک ابزار مناسب برای برآورد دقیق تبخیرتعرق مرجع باشد (Pereiraet al., 1995). اما ایجاد شرایط مناسب برای احداث تجهیزات تشت تبخیر برای همه در دسترس نیست و کاری پرهزینه و فرآیندی وقت‌گیر است. آلن و همکاران گزارش کردند که روش پنمن مانتیث اصلاحی و ترکیب آن با معادله پنمن فائو (FAO) می‌تواند بعنوان فرمول استاندارد برآورد تبخیرتعرق مرجع مورد استفاده قرار گیرد. این معادله در مجامع جهانی مورد قبول قرار گرفته است، زیرا با روش‌های دقیق برآورد تبخیرتعرق مرجع هم‌چون تشت تبخیر و لایسیمتر مورد مقایسه قرار گرفته و نتایج بسیار خوبی از خود نشان داده است (Allen et al., 1998). اما استفاده از روش پنمن مانتیث فائو نیازمند وجود طیف وسیعی از داده‌های هواشناسی است (Maeda et al., 2010). از این‌رو در شرایطی که داده‌های کامل در اختیار نباشد، استخراج معادلات ساده و قابل استفاده با حداقل داده‌های هواشناسی با دقت قابل قبول، ضروری است. از طرفی معادلات حاصله ممکن است در اقلیم‌های مختلف دارای عملکردی متفاوت باشند. بنابراین لازم است معادلات مستخرج قبل از توصیه، برای اقلیم‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد.

براساس داده‌های اقلیمی می‌توان برای هر منطقه نوع اقلیم را مشخص نمود. برای این منظور روش‌ها و اقلیم نماهای مختلفی ارایه شده است که اقلیم نمای ارایه شده توسط یونسکو یکی از این روش‌ها است. در اقلیم نمای یونسکو 6 اقلیم اصلی به شرح زیر پیشنهاد شده است. 1- اقلیم خیلی‌مرطوب، خنک، گرم (PH-C-W) 2- اقلیم نیمه‌خشک، سرد، گرم (SA-K-W) 3- اقلیم نیمه‌خشک، خنک، خیلی‌گرم (SA-C-VW) 4- اقلیم خشک، خنک، گرم(A-C-W) 5- اقلیم خشک، معتدل، گرم (A-M-W) 6- اقلیم خشک، خنک، خیلی-گرم (A-C-VWW)

در این نوع طبقه‌بندی، اقلیم بر اساس رطوبت، میزان دمای تابستانه و دمای زمستانه طبقه‌بندی می‌شود. بعنوان مثال اقلیم نیمه خشک، سرد، گرم (SA-K-W) اقلیمی است که از نظر رطوبتی شاخص نیمه‌خشک را دارد و دارای شاخص زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم است.

مواد و روش‌ها

با هدف واسنجی و ارزیابی سه معادله بلانی کریدل اصلاحی، هارگریوز و تورنت وایت بر پایه روش پنمن مانتیث فائو و با بهره‌گیری از اقلیم‌نمای یونسکو (Ghafari et al., 2004)، سه ایستگاه هواشناسی رشت در قسمت شمالی کشور با طول جغرافیایی '39 °49 شرقی و عرض جغرافیایی '12 °37 شمالی با ارتفاع 8 متر از سطح دریا و آب و هوای خیلی‌مرطوب خنک گرم (PH-C-W)، زرقان در نواحی مرکزی کشور در دشت مرودشت با طول جغرافیایی '43 °52 شرقی و عرض جغرافیایی '47 °29 شمالی با ارتفاع 1596 متر از سطح دریا با آب و هوای نیمه‌خشک خنک خیلی گرم (SA-C-VW) و شوشتر در قسمت جنوب غربی کشور با طول جغرافیایی '50 °48 شرقی و عرض جغرافیایی '30 °32 شمالی با ارتفاع 67 متر از سطح دریا و آب و هوای خشک معتدل گرم (A-M-W)،انتخاب شدند. مشخصات و میانگین سالانه داده‌های هواشناسی برای ایستگاه‌های مذکور، در جدول 1 آمده است.

جدول1- اطلاعات جغرافیایی و داده‌های میانگین سالانه هواشناسی برای سه ایستگاه انتخابی

مشخصات	ایستگاه		
	رشت	زرقان	شوشتر
ارتفاع از سطح دریا	8	1596	67
طول جغرافیایی (شرقی)	49° 39'	52° 43'	48° 50'
عرض جغرافیایی (شمالی)	37° 12'	29° 47'	32° 30'
درجه حرارت (سانتی‌گراد)	16/52	16/47	26/75
سرعت باد (متر بر ثانیه)	0/85	1/02	2/19
رطوبت نسبی (درصد)	83/61	38/7	37/36
بارش (میلی‌متر در سال)	1318/46	354/66	326/49
ساعات آفتابی (ساعت در روز)	4/86	9/22	8/65
نوع اقلیم	PH-CW	SA-C-VW	A-M-W

در این تحقیق از معادلات برآورد تبخیرتعرق استفاده گردید. این روابط عبارتند از:

معادله پنمن مانتیث فائو

معادله هارگریوز

معادله بلانی کریدل اصلاحی

معادله تورنت وایت اصلاحی

در تمامی روش‌های فوق تبخیرتعرق مرجع با استفاده از داده‌های هواشناسی برآورد می‌شوند. (Allen et al., 1998) و (Maeda et al., 2010 و(Fooladmand and Ahmadi., 2009) و (Maeda et al., 2010) و (Blaney et al., 1950) .

داده‌های مورد نیاز برای یک دوره ده ساله (1996 الی 2005) و به‌صورت ماهانه برای هر سه ایستگاه منتخب از پایگاه داده‌های سازمان هواشناسی ایران استخراج شد. پس از انجام بررسی‌های لازم شامل تشخیص خلاهای آماری و بازسازی آن‌ها و همچنین آزمون همگنی، داده‌ها به دو دسته پنج سال اول و پنج سال دوم تقسیم شدند. مقادیر تبخیرتعرق مرجع با استفاده از سه روش مذکور برای تمام ایستگاه‌ها با داده‌های پنج سال اول به‌دست آمد. سپس ضرایب واسنجی برای معادلات هارگریوز-سامانی، بلانی کریدل اصلاحی و تورنت وایت بر پایه مقادیر به‌دست آمده از روش پنمن مانتیث فائو برآورد گردید. به منظور استخراج ضرایب واسنجی معادلات از دو روش استفاده شد:

1) روش رگرسیون خطی که در آن رابطه بین مقادیر تبخیرتعرق حاصل از روش پنمن مانتیث فائو ($ET_{0\ PMF}$) و محاسبه شده توسط معادلات تجربی ($ET_{0\ EMP}$) مذکور به شکل رابطه 1 است:

$$ET_{0\ PMF} = a + b\ ET_{0\ EMP} \quad (1)$$

که ضرایب a و b با استفاده از رگرسیون خطی بدست می‌آیند (این ضرایب در جدول 2 نشان داده شده است).

2) روش بهینه‌سازی غیرخطی بر پایه کمینه‌سازی مجموع مربعات خطا که محاسبات این روش با استفاده از امکانات Solver در نرم‌افزار Excel انجام شد. این روش بر اساس تغییر ضرایب انتخاب شده‌ی رابطه مربوطه، معادله را واسنجی می‌کند.

با داده‌های هواشناسی پنج سال دوم، ابتدا مقدار تبخیرتعرق مرجع با استفاده از معادلات واسنجی شده محاسبه شد و در مرحله بعد نتایج حاصله با مقادیر بدست آمده از روش پنمن مانتیث فائو برای پنج سال دوم مورد مقایسه قرار گرفت. در فرآیند ارزیابی معادلات واسنجی شده، از آزمون F با سطح احتمال 1% جهت مقایسه خط رگرسیون حاصل از مقادیر به‌دست آمده از این معادلات و مقادیر به‌دست آمده از روش پنمن مانتیث فائو، با خط یک‌به‌یک (y=x) استفاده شد. هم-چنین معیار آماری ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (RRMSE) به‌صورت رابطه 2 جهت انتخاب و توصیه معادلات برتر مورد استفاده قرار گرفت.

(2)

$$RRMSE = [1/n \sum_{i=1}^{n} (ET_{0\ EMP_i} - ET_{0\ PMF_i})^2]^{0.5} (\frac{100}{MET_{0\ EMP}})$$

در رابطه 2، $ET_{0\ EMP_i}$ و $ET_{0\ PMF_i}$ به ترتیب مقادیر تبخیرتعرق حاصل از معادلات واسنجی شده و روش پنمن مانتیث فائو، $MET_{0\ EMP}$ میانگین مقادیر تبخیرتعرق حاصل از معادلات واسنجی شده و n تعداد مشاهدات است.

نتایج و بحث

مقادیر تبخیرتعرق مرجع بدست آمده از روابط واسنجی شده در مقابل مقادیر حاصل از روش پنمن مانتیث فائو در روش واسنجی رگرسیون خطی برای ایستگاه‌های رشت، زرقان و شوشتر به ترتیب در شکل‌های 1، 2 و 3 (الف) و برای روش واسنجی بهینه‌سازی غیرخطی در شکل‌های 1، 2 و 3 (ب) آمده است. در این شکل‌ها مقادیر با خط 1 به 1 مقایسه شده‌اند. خطوط نقطه‌چین و سیاه به ترتیب نشان-

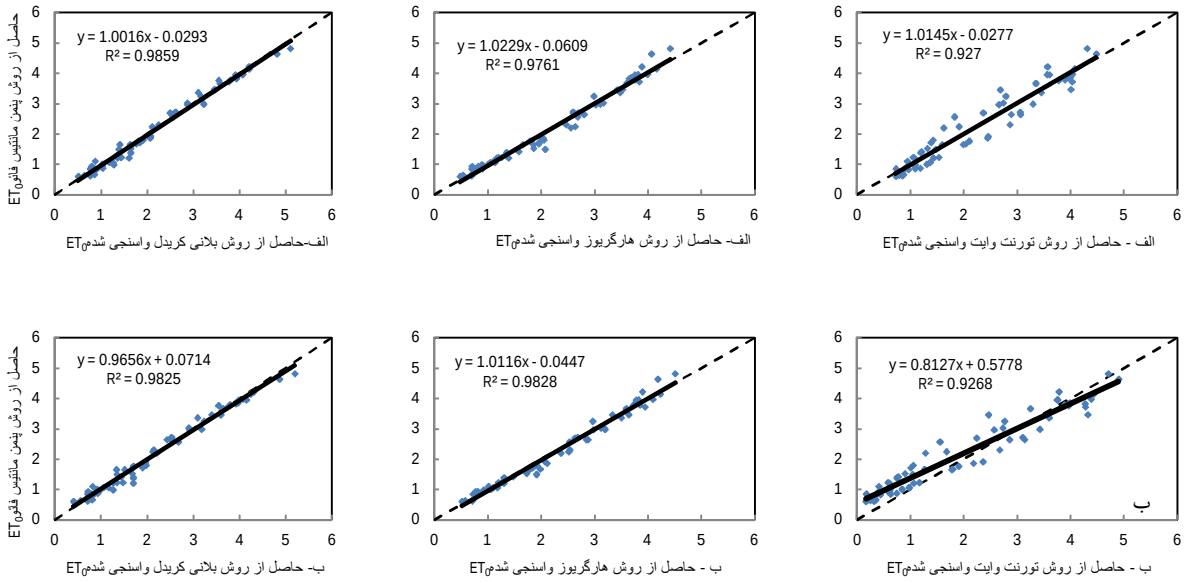
دهنده‌ی خط 1:1 و خط رگرسیون می‌باشند. جدول 2 معادلات واسنجی شده در 5 سال اول را نشان می‌دهد، که از این معادلات برای محاسبه تبخیرتعرق در 5 سال دوم استفاده شده است. در معادلات واسنجی شده با روش بهینه‌سازی غیرخطی، معادلات بعد از اینکه تغییر ضریب داده‌اند آورده شده است. معادلات اصلی در بخش 2-2 قابل مشاهده می‌باشند. در ستون معادله واسنجی شده با روش رگرسیون خطی ضرایب a و b در قالب معادله آورده شده‌اند. بدین‌سان با قرار دادن عدد حاصل از معادله تجربی ($ET_{0\ EMP}$) در معادله واسنجی مورد نظر، مقدار تبخیرتعرق مرجع بصورت دقیق‌تری محاسبه خواهد شد. مقدار آماری RRMSE حاصل از فرآیند ارزیابی در جدول 4 ارایه شده است. در این جدول مقدار RRMSE برای معادله اصلی (قبل از واسنجی شدن) و معادلات بعد از واسنجی شدن بر حسب درصد آورده شده است.

جدول2- معادلات واسنجی شده برآورد تبخیرتعرق مرجع در سه ایستگاه مختلف.

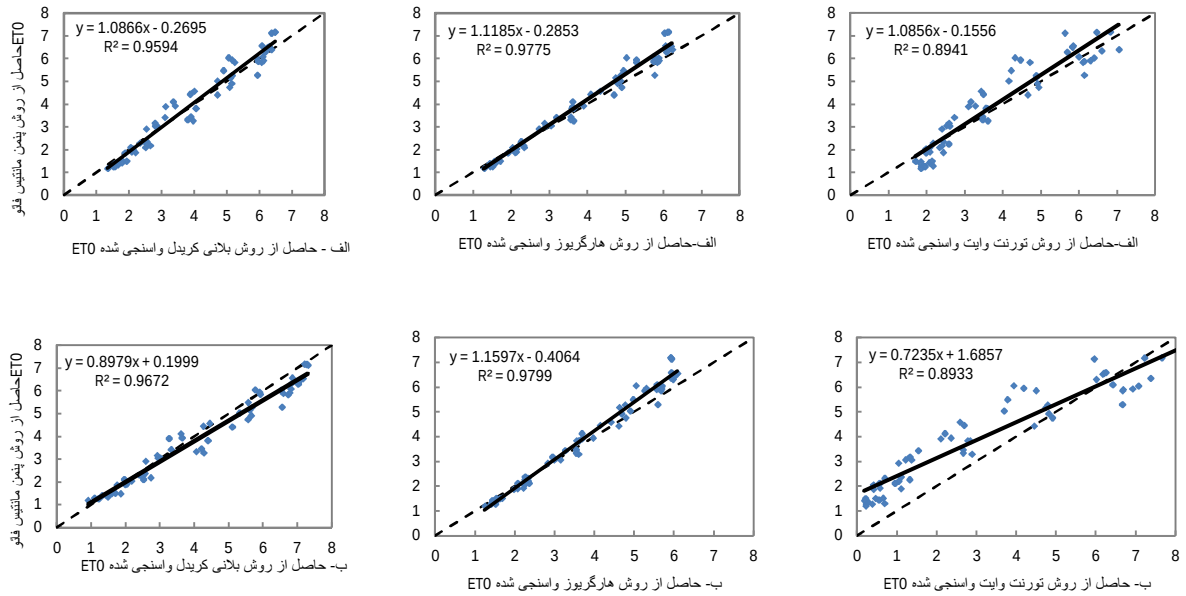
ایستگاه	اقلیم	روش	واسنجی شده با روش رگرسیون خطی	R^2 (خطی)	واسنجی شده با روش بهینه‌سازی غیرخطی	R^2 (غیرخطی)
رشت	PH-C-W	بلانی کریدل(BC)	$ET_{0\ PMF} = 0.3185 + 0.8393\ ET_{0\ BC}$	0/98	$ET_0 = a + b[P(0.3421T + 9.9216)]$	0/98
		هارگریوز(H)	$ET_{0\ PMF} = -0.2771 + 0.8669\ ET_{0\ H}$	0/98	$ET_0 = 0.0025R_A(T + 7.4121)\sqrt{T_R}$	0/98
		تورنت وایت(TW)	$ET_{0\ PMF} = 0.5923 + 0.6835\ ET_{0\ TW}$	0/93	$ET_0 = 4.2388(19.5127\ t_i/I)^a$	0/93
زرقان	SA-C-VW	بلانی کریدل(BC)	$ET_{0\ PMF} = 0.9246 + 0.6147\ ET_{0\ BC}$	0/96	$ET_0 = a + b[P(0.1824T + 10.9779)]$	0/96
		هارگریوز(H)	$ET_{0\ PMF} = 0.2908 + 0.7727\ ET_{0\ H}$	0/98	$ET_0 = 0.0014\ R_A(T + 30.8061)\sqrt{T_R}$	0/98
		تورنت وایت(TW)	$ET_{0\ PMF} = 1.7080 + 0.8443\ ET_{0\ TW}$	0/89	$ET_0 = 26.7512(8.5808\ t_i/I)^a$	0/89
شوشتر	A-M-W	بلان یکریدل(BC)	$ET_{0\ PMF} = 0.0932 + 0.8619\ ET_{0\ BC}$	0/93	$ET_0 = a + b[P(0.3660T + 8.8031)]$	0/93
		هارگریوز(H)	$ET_{0\ PMF} = -0.6183 + 1.3384 ET_{0\ H}$	0/91	$ET_0 = 0.0036\ R_A(T + 7.7400)\sqrt{T_R}$	0/91
		تورنت وایت(TW)	$ET_{0\ PMF} = 3.1464 + 0.3239\ ET_{0\ TW}$	0/78	$ET_0 = 94.7496(5.4410\ t_i/I)^a$	0/77

برای مقایسه و صحت‌سنجی هم‌چنین از آزمون F استفاده شد که نتایج آن در جدول 3 آمده است. طبق این جدول در روش واسنجی رگرسیون خطی، برای ایستگاه رشت، معادلات بلانی کریدل، هارگریوز و تورنت وایت نتایج خوبی را حاصل کرده‌اند زیرا شیب و عرض از مبدا معادلات دارای اختلاف معناداری با شیب و عرض از مبدا خط 1 به 1 نیستند. اما با نگاهی به جدول 4 درمی‌یابیم که معادله بلانی کریدل به دلیل کم‌تر بودن مقدار RRMSEدارای کارایی بهتری می‌باشد. به همین ترتیب مشاهده می‌شود که برای ایستگاه‌های زرقان و شوشتر، تنها معادله تورنت وایت نتایج خوبی را حاصل کرده است. بدین ترتیب که برای ایستگاه زرقان، در معادله بلانی کریدل، شیب دارای اختلاف معناداری با شیب خط 1 به 1 است و در معادله هارگریوز نیز، شیب و عرض از مبدا هر دو دارای اختلاف معناداری با شیب و عرض از مبدا خط 1 به 1 می‌باشند. هم‌چنین برای ایستگاه شوشتر نیز در هر سه معادله مذکور، شیب و عرض از مبدا هر دو دارای اختلاف معناداری با شیب و عرض از مبدا خط 1 به 1 می- باشند. این امر نشان می‌دهد که مدل ارایه شده فقط در محدوده اعداد واسنجی شده دارای کارایی قابل قبول می‌باشد و در خارج از محدوده کارایی مدل کاهش می‌یابد. در نهایت بعد از آزمون F و با توجه به جدول 4 می‌توان دریافت که برای مناطق نیمه‌خشک و خشک روش تورنت وایت مناسب‌تر است.

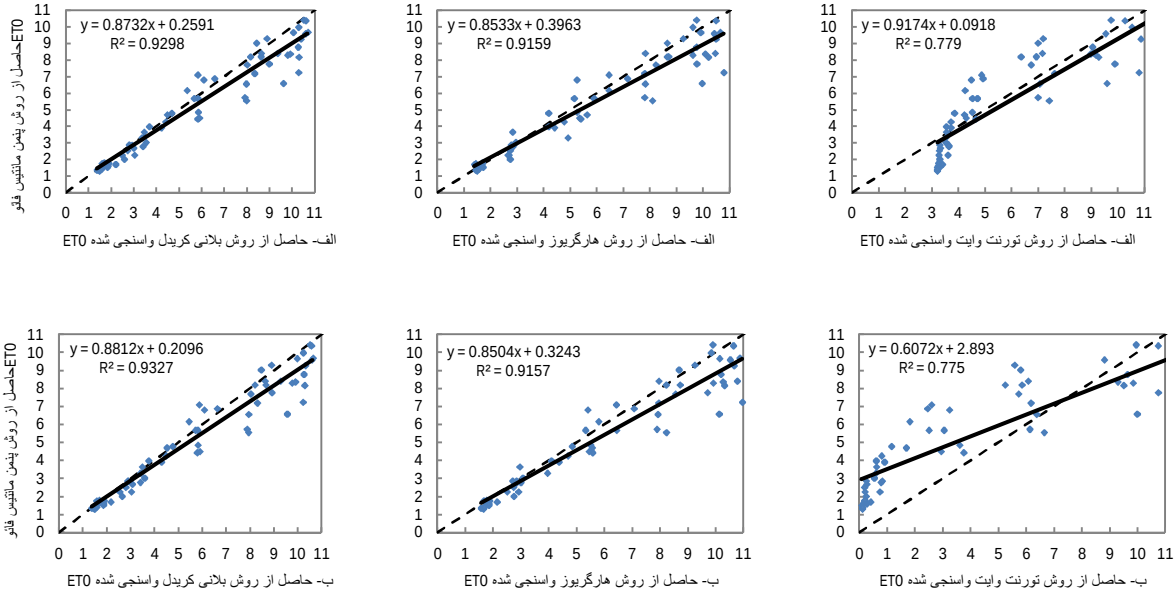
اما در روش واسنجی بهینه‌سازی غیرخطی، برای ایستگاه رشت، معادله بلانی کریدل و هارگریوز نتایج خوبی را حاصل کرده‌اند که با توجه به جدول 4 نیز مشخص می‌شود که روش هارگریوز به دلیل کم‌تر بودن مقدار RRMSE دارای کارایی بهتری است. در مورد ایستگاه‌های زرقان و شوشتر، نتایج خوبی با هیچ‌یک از معادلات حاصل نشده است. زیرا در هر سه معادله مذکور، شیب و عرض از مبدا دارای اختلاف معناداری با شیب و عرض از مبدا خط 1 به 1 هستند. در کل برای تایید و یا رد معادله ابتدا مدل نسبت به آزمون F سنجیده می‌شود و در صورت عبور از فیلتر آزمون F، برای مقایسه بین دو یا سه معادله آماره‌ی RRMSE مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل1- مقایسه تبخیرتعرق مرجع بدست آمده از روابط واسنجی شده با روش پنمن مانتیث فائو (ایستگاه رشت)
(الف- روش رگرسیون خطی، ب- روش بهینه‌سازی غیرخطی)



شکل2- مقایسه تبخیرتعرق مرجع بدست آمده از روابط واسنجی شده با روش پنمن مانتیث فائو (ایستگاه زرقان)
(الف- روش رگرسیون خطی، ب- روش بهینه‌سازی غیرخطی)



شکل3- مقایسه تبخیرتعرق مرجع بدست آمده از روابط واسنجی شده با روش پنمن مانتیث فائو (ایستگاه شوشتر) (الف- روش رگرسیون خطی، ب- روش بهینه‌سازی غیرخطی)

جدول3- نتایج حاصل از آزمون F در سطح احتمال 1% (A: عرض از مبدا، B: شیب خط)

ایستگاه	معادله	روش رگرسیون خطی			روش بهینه سازی غیرخطی		
		معادله خط	B	A	معادله خط	B	A
رشت	بلانی‌کریدل	$Y = -0.0293 + 1.0016X$	N.S	N.S	$Y = 0.0714 + 0.9656X$	N.S	N.S
	هارگریوز	$Y = -0.0609 + 1.0229X$	N.S	N.S	$Y = -0.0447 + 1.0116X$	N.S	N.S
	ترنت وایت	$Y = -0.0277 + 1.0145X$	N.S	N.S	$Y = 0.5778 + 0.8127X$	S	S
زرقان	بلانی‌کریدل	$Y = -0.2694 + 1.0865X$	S	N.S	$Y = 0.1999 + 0.8979X$	S	S
	هارگریوز	$Y = -0.2853 + 1.1184X$	S	S	$Y = -0.4064 + 1.1597X$	S	S
	ترنت وایت	$Y = -0.1555 + 1.0856X$	N.S	N.S	$Y = 1.6857 + 0.7235X$	N.S	S
شوشتر	بلانی‌کریدل	$Y = 0.2591 + 8732X$	S	S	$Y = 0.2095 + 0.8811X$	S	S
	هارگریوز	$Y = 0.3963 + 8533X$	S	S	$Y = 0.3242 + 0.8504X$	S	S
	ترنت وایت	$Y = 0.0917 + 0.9174X$	N.S	N.S	$Y = 2.8929 + 0.6071X$	N.S	S

نتیجه گیری

با توجه به نتایج، برای ایستگاه رشت که در اقلیم خیلی‌مرطوب کشور قرار دارد در روش واسنجی رگرسیون خطی، معادله بلانی کریدل توصیه می‌شود اما در روش واسنجی بهینه‌سازی غیرخطی، نتایج حاصل از معادلات واسنجی شده بلانی کریدل و هارگریوز نزدیک بوده و بنابراین استفاده از هر دو روش پیشنهاد می‌گردد. برای ایستگاه‌های زرقان و شوشتر که به ترتیب در اقلیم‌های نیمه‌خشک و خشک قرار دارند، تنها استفاده از معادله واسنجی شده تورنت وایت با روش واسنجی رگرسیون خطی جهت برآورد تبخیرتعرق مرجع قابل توصیه است. در اکثر موارد جهت واسنجی معادلات، روش رگرسیون خطی نسبت به روش بهینه‌سازی غیرخطی عملکرد بهتری داشت، بنابراین استفاده از این روش در فرآیند واسنجی معادلات ارجح است.

جدول 4- مقادیر ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (*RRMSE*) در برآورد تبخیرتعرق مرجع

ایستگاه	اقلیم	معادله	RRMSE (%)		
			معادله اصلی	معادله واسنجی شده از روش رگرسیون خطی	معادله واسنجی شده از روش بهینه‌سازی غیرخطی
رشت	PH-C-W	بلانی کریدل	12/70	6/61	7/51
		هارگریوز	32/12	8/59	7/27
		ترنت وایت	28/57	14/85	-
زرقان	SA-C-VW	بلانی کریدل	34/45	-	-
		هارگریوز	17/86	-	-
		ترنت وایت	40/95	16/57	-
شوشتر	A-M-W	بلانی کریدل	32/83	-	-
		هارگریوز	19/28	-	-
		ترنت وایت	124/97	26/09	-

منابع

Ahmadi,S.H., Fooladmand,H.R. 2008. Spatially distributed monthly reference evapotranspiration derived from the calibration of Thornthait equation: a cas study, south of iran. Irrigation Science. 26.4: 303-312.

Allen,R.G., Pereira,L.S., Raes,D., Smith,M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirement. Irrigation and Drainage Paper.No.56, FAO, Rome, Italy, 300 pp.

Blaney,H.F., Crridle,W,D. 1950. Determining water requerments in irrigated areas from climatologically and irrigation data. USDA, SCS. SCS-TP-96, 48.

Bos,M.G., Kselik,R.G., Allen,k., Molden,D.J. 2009. Water Requirements for Irrigation and the Environment. Springer, 186p.

FAO–Food and Agriculture Organization of the United Nation, Land and Water Development Division. 2005. AQUASTAT information system on water and agriculture: Online database. Rome: FAO.

Fooladmand,H.R., Ahmadi,S.H. 2009. Monthly spatial calibration of Blaney-Criddle equation for calculating monthly ET_0 in south of Iran.Irrigationans Drainage. 58.2: 234-245.

Ghafari,A., Ghasemi,V., Depao,V. 2004. Agricultural climate zone classification with UNESCO method, Drought and drought. 12: 30-35.

Hargreaves,G.H., Samani,Z.A. 1982. Estimating potential evapotranspiration. Irrigation and Drainage Engneering. ASCE. 108(IR3):223-230.

Hargreaves,G.H., Samani,Z.A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Transaction of ASAE 1.2:96-99.

Li,Y., Chen,Z.S., Zhang,B., Wang,J.S. 2005. Study on the method of reference crop evapotranspiration by depence analysis. Journal. Xinjiang Agriculture. University. 28.1:70-72

Li,Y., Horton,R., Ren,T., Chen,C. 2009. Prediction of annual reference evapotranspiration using climatic data. Agricultural Water management. 97: 300-308.

Maeda,E.E., Wiberg,D.A., Pellikka,P.K.E. 2010. Estimating reference evapotranspiration using sensing empirical models in a region with limited data availability in Kenya. Applied Geography. 31: 251-258.

Oki,T., Kanae,S. 2006 Global hydrological cycle and world water resources. Science. 313: 1068-1072.

Pereira,A.R., Nova,N.A.V., Pereira,A.S., Barbieri,V. 1995. A model for the class A pan coefficient. Agriculture for Meteorologic. 76: 75-82.

Rockstorm,J., Falkenmark,M., Karlberg,L., Hoff,H., Rost,S., Gerten,D. 2009. Future water avalibility for global food production: The potential of green water for increasing resilience to global change. Water Resources Research, 45.

Snyder,R.L.1992. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversion. Journal. Irrigation and Drainage Engneering. 118: 977-980.

Sumner,D.M., Jacobs,J.M. 2005. Utility of Penman-Monteith, Priestly-Taylor, reference evapotranspiration, and pan evaporation methods to estimate pasture evapotranspiration. Journal. Hydrology. 308: 81-140.

Walter,I.A., Allen,R.G., Elliott,R., Mecham,B., Jensen, M.E., Itenfisu,D., Howell,T.A., Snyder,R., Brown, P., Eching,S., Spofford,T., Hattendrf,M., Cuenca,R. H., Right,J.L., Mrtin,D. 2000. ASCE standardize reference evapotranspiration equation.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 11, Apr.-May. 2017, p. 104-112

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره1، جلد 11، فروردین - اردیبهشت 1396، ص. 112-104

Calibrate and Evaluation of the Three Experimental Methods Estimating Source Evapotranspiration. (Case study: Three Different Climates of Six Main Climates in Iran)

P. Pashakhah[1] - H. Ebrahimi[2]* - S. Bolokazari[3]-H.Hasan Pour Darvishi[4]
Recived: Nov.09, 2015 Accepted: Mar.12, 2017

Abstract

Knowing about plants' water requirement is one of the most important considerations in reforming water productivity in agriculture. So precise estimating of source evapotranspiration is one of the most important factors in improving water management. Penman Mantis FAO is used as a standard formula to estimate the source evapotranspiration. But this detailed and complicated method requires lots of information. Due to the lack of certain required information in all the regions, regional equations for calculating evapotranspiration based on the least of the meteorological data seems necessary. To this end, three experimental equation" Blany Criddle, Hargreaves and Torrent White" was selected and based on Penman Mantis FAO equation for three different climates by the linear regression and nonlinear optimized method was calibrated. A ten year period's data for the three stations of thoroughly humid, semi-arid and dry climate was calculated and divided into two groups: the first 5 years and second one. The data for the first 5 years the equations was calibrated and evaluation of the equations was conducted through F test and RPMSE test, using the second 5 years. Based on the results, using of equations Blany Criddle , and Hargreaves, for the thoroughly humid climate and the Torrent White equation calibrated for semi-arid and dry climate using the regression calibration method is recommended to estimate source evapotranspiration. In the calibrating process of equations, linear regression performed more properly than the optimized non-linear method.

Key words: Crop reference evapotranspiration, FAO Penman-Monteith, Blaney-Criddle, Thornthwaite, Hargreaves-Samani

1- PhD Student, Department of Water Science and Engineering., Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran,Iran
2- Associate Professor Department of Water Science and Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran,Iran
3- PhD Student, Department of Water Science and Engineering., Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran,Iran
4- Associate Professor Department of Water Science and Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran,Iran
(* - Corresponding Author Email: Ebrahimi165@yahoo.com)